

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平7-210175

(43) 公開日 平成7年(1995) 8月11日

(51) Int.Cl.<sup>8</sup>

識別記号

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

G 1 0 K 11/178

B 6 0 R 11/02

H 0 3 H 21/00

B 7146-3D

8842-5J

G 1 0 K 11/ 16

H

審査請求 未請求 請求項の数 8 O L (全 15 頁)

(21) 出願番号

特願平6-3426

(22) 出願日

平成6年(1994) 1月18日

(71) 出願人 000005108

株式会社日立製作所

東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地

(72) 発明者 中村 満

茨城県勝田市大字高場2520番地 株式会社

日立製作所自動車機器事業部内

(72) 発明者 佐々木 光秀

茨城県勝田市大字高場2520番地 株式会社

日立製作所自動車機器事業部内

(72) 発明者 阿部 孝治

茨城県勝田市大字高場2520番地 株式会社

日立製作所自動車機器事業部内

(74) 代理人 弁理士 高田 幸彦

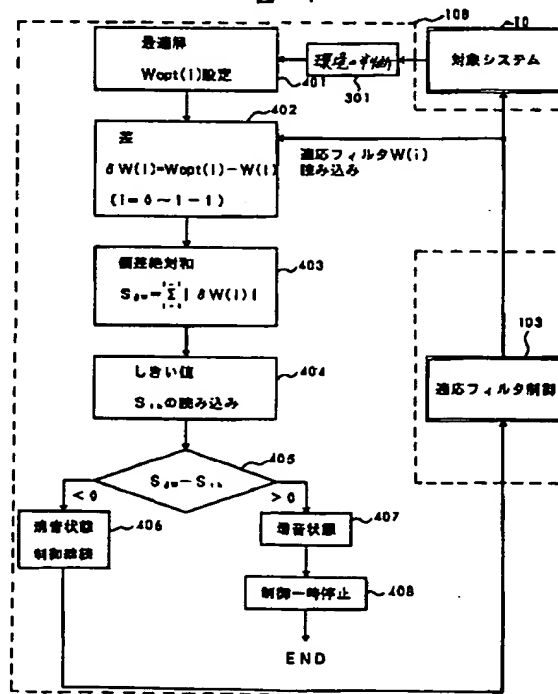
(54) 【発明の名称】 能動型騒音制御装置

(57) 【要約】

【目的】 対象システムが増音状態か否かを判定し、消音制御を継続するまたは増音状態の進行を抑えるなどのフェールセーフ制御を実行し、安定した適応フィルタ制御を行う能動型騒音制御装置を提供する。

【構成】 予想される環境に対する適応フィルタの最適解を予め用意し、騒音制御を行っている対象システム10の環境を判断301し、予想環境に当て嵌めて最適解401を設定する。そして、制御中の適応フィルタ $w(i)$ と最適解 $w_{opt}(i)$ との差 $\delta w(i)$ 402を用いて、例えば、絶対値の和 $S_{\delta w} = \sum_{i=1}^N |\delta w(i)|$ 403を求める。その和 $S_{\delta w}$ と所定の閾値 $S_{th}$ 404との差を、設定したルールと照合し、増音状態か否かを判定405する。消音状態406であれば、制御を継続し、増音状態407であれば、制御を一時停止408し増音状態の進行を抑え、適応フィルタ制御103をフェールセーフ制御108する。

図 4



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】所定の制御位置における音圧信号を検出する音圧検出手段と、騒音源から伝達される騒音に対して能動的に干渉させるための2次音の制御信号を出力する2次音出力手段と、前記騒音源と相関性のある参照信号を検出する参照信号検出手段と、前記参照信号と前記音圧信号とに基づいて前記制御位置における前記音圧信号が最小となるように前記制御信号を制御する適応フィルタを更新する適応フィルタ制御手段とを備える能動型騒音制御装置において、

前記参照信号を検出する位置から前記音圧信号を検出する位置までの伝達系と前記制御信号を出力する位置から前記音圧信号を検出する位置までの伝達系とを含む音伝達系の特性を定めることのできる少なくとも1つの環境情報を検出する手段と、検出された前記環境情報に基づき定められた前記音伝達系の特性を用いて前記適応フィルタの設定最適解を設定する手段と、前記設定最適解と更新される前記適応フィルタとの偏差から前記制御位置における前記音圧信号の増音状態を判定する手段とを設け、

前記適応フィルタ制御手段が、前記増音状態の判定に応じて前記適応フィルタ制御手段自体を制御するフェールセーフ機能を有することを特徴とする能動型騒音制御装置。

【請求項2】請求項1において、前記適応フィルタの設定最適解を設定する手段は、予め用意した最適解テーブルより設定最適解を選択し設定するものであることを特徴とする能動型騒音制御装置。

【請求項3】請求項1において、前記設定最適解を設定する手段によって設定された前記設定最適解  $w_{opt}(i)$  と時々刻々更新される前記適応フィルタ  $w(i)$  ( $i=0, \dots, l-1$ ) との前記偏差は、差  $\delta w(i) = w_{opt}(i) - w(i)$  の和  $\sum_i \delta w(i)$ 、または差  $\delta w(i)$  の絶対値の和  $\sum_i |\delta w(i)|$ 、または差  $\delta w(i)$  の二乗和  $\sum_i \delta w(i)^2$ 、または差  $\delta w(i)$  の最大値  $\max(\delta w(i))$ 、またはフィルタパワーの差  $\Delta W = \sum_i w_{opt}(i)^2 - \sum_i w(i)^2$  のうち少なくとも1つであることを特徴とする能動型騒音制御装置。

【請求項4】所定の制御位置における音圧信号を検出する音圧検出手段と、騒音源から伝達される騒音に対して能動的に干渉させるための2次音の制御信号を出力する2次音出力手段と、前記騒音源と相関性のある参照信号を検出する参照信号検出手段と、前記参照信号と前記音圧信号とに基づいて前記制御位置における前記音圧信号が最小となるように前記制御信号を制御する適応フィルタを更新する適応フィルタ制御手段とを備える能動型騒音制御装置において、

前記制御信号を出力する位置から前記音圧信号を検出する位置までの伝達系を含む音伝達系の特性を定めることのできる少なくとも1つの環境情報を検出する手段と、検出された前記環境情報に基づき定められた前記音伝達

系の特性と前記音圧信号と前記制御信号とを用いて前記騒音源から伝達される前記騒音の推定騒音を推定する手段と、前記推定騒音と前記音圧信号との偏差から前記制御位置における前記音圧信号の増音状態を判定する手段とを設け、

前記適応フィルタ制御手段が、前記増音状態の判定に応じて前記適応フィルタ制御手段自体を制御するフェールセーフ機能を有することを特徴とする能動型騒音制御装置。

10 【請求項5】請求項1または請求項4において、前記適応フィルタ制御手段の制御自体をフェールセーフすることは、適応フィルタの更新による適応フィルタの成長を遅くする、または適応フィルタの成長を止める、または適応フィルタを逆成長させる、または一旦適応フィルタを零にして再度成長させる、または制御自体を一時停止するのうち少なくとも1つを行うものであることを特徴とする能動型騒音制御装置。

20 【請求項6】請求項1または請求項4において、検出される前記音圧信号の周波数範囲を複数の周波数域に分割し、分割した前記周波数域別に前記適応フィルタ制御手段を設け、前記周波数域別の前記適応フィルタ制御手段毎にフェールセーフすることを特徴とする能動型騒音制御装置。

【請求項7】請求項1または請求項4において、騒音制御の対象が車両の車室内である場合にあっては、前記環境情報は、車室内温度、または車両走行速度、または車両総重量のうち少なくとも一つであることを特徴とする能動型騒音制御装置。

30 【請求項8】所定の制御位置における音圧信号を検出する音圧検出手段と、騒音源から伝達される騒音に対して能動的に干渉させるための2次音の制御信号を出力する2次音出力手段と、前記騒音源と相関性のある参照信号を検出する参照信号検出手段と、前記参照信号と前記音圧信号とに基づいて前記制御位置における前記音圧信号が最小となるように前記制御信号を制御する適応フィルタを更新する適応フィルタ制御手段とを備える能動型騒音制御装置において、

前記参照信号を検出する位置から前記音圧信号を検出する位置までの伝達系と前記制御信号を出力する位置から前記音圧信号を検出する位置までの伝達系とを含む音伝達系の特性を定めることのできる少なくとも1つの環境情報を検出する手段と、検出された前記環境情報に基づき定められた前記音伝達系の特性を用いて前記適応フィルタの設定最適解を設定する手段とを設け、前記適応フィルタ制御手段が、前記設定最適解を初期値として用いて前記適応フィルタの更新を開始することを特徴とする能動型騒音制御装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

50 【産業上の利用分野】本発明は、人工的に生成した逆位

相波を用いて能動的に不快な騒音を消す能動型騒音制御装置に関するものである。

#### 【0002】

【従来の技術】従来技術について、車両の場合を例にとって説明する。車両が発生する騒音は、エンジン音、風切音、ロードノイズなど様々である。この内、粗い凹凸路面を走行中のタイヤ及びサスペンションの振動が車室内に伝搬され発生する騒音が、一般にロードノイズと呼ばれ、通常30～300Hzのブロードバンドスペクトルを持っている乗員にとって不快な音である。これを低減

するため、発生している騒音源である1次音に対し、人工的に作り出した逆位相の2次音で、「積極的」に音を消す能動型騒音制御技術がある。この能動型騒音制御技術に関しては、特表平1-501344号公報などがある。

【0003】これは、車室内の所定位置の音圧を測定するマイクロフォンと、騒音源の1次音と干渉し合って騒音を低減する2次音を出力するスピーカと、1次音の参照信号に同期した基準信号を発生する基準信号発生器と、基準信号を位相振幅変調して制御信号を出力し適応フィルタを介してスピーカを制御する制御回路とで構成されているものである。基準信号発生器は、参照信号として、点火タイミング信号などのエンジン回転信号を受信し、時々刻々のエンジン回転周期の整数倍に比例した正弦波信号である基準信号を発信している。

【0004】そして、制御回路は、1次音に対して充分相関性が高い成分が含まれているこの基準信号を用いて、1次音と2次音を干渉させ、該所定位置での車室内の音圧が最小になるように、該適応フィルタを時々刻々更新しているものである。

#### 【0005】

【発明が解決しようとする課題】上記のような適応フィルタを用いて、制御対象となる騒音を発しているシステム（以下、対象システムと言う。）を消音する適応フィルタ制御において、1次音と2次音の干渉が適切に行われなかった場合、消音されるべき対象システム（この場合、車室内）は、逆に増音状態となる。

【0006】増音状態の検出は、エンジン音のような単一周波数の周期音からなる対象システムでは比較的容易である。例えば、エンジン回転数に同期したトラッキングフィルタを用いて当該騒音の周波数を抽出し、その音圧レベルの変動を掴めば、対象システムの増音状態を検出できる。

【0007】しかし、ロードノイズのようなランダム騒音の対象システムは、30～300Hzのブロードバンドスペクトルであり、ロードノイズ以外にも種々の騒音成分を含んでおり、そして、時々刻々変動している。このような対象システムにおける増音状態の検出は、極端に増音しているような完全な発散状態である場合を除いて困難である。

【0008】従って、ランダム騒音のような場合、適応

フィルタ制御の消音制御が、適切に行われず、増音状態になっても適応フィルタ制御自体を加減したり停止したりする、所謂フェールセーフすることが行われていなかった。即ち、増音状態の判定に応じて適応フィルタ制御自体を制御するフェールセーフ機能を有するものではなかった。

【0009】フェールセーフの対応が行われなければ、増音状態は徐々に大きくなり、最終的には発散状態に至り、制御不能となる危険性がある。車室内の場合であれば、騒音がうるさく安全運転の妨げとなる。従って、消音制御が制御し切れずに逆に増音状態へ移行し始めた

と判断されたら、その状態に応じて適応フィルタ制御をフェールセーフする必要がある。

【0010】本発明の目的は、ロードノイズなどのランダム騒音に対する消音制御において、騒音制御の対象システムが増音状態か否かを判定し、消音制御を継続するまたは増音状態の進行を抑制するなどのフェールセーフ制御を実行し、安定した適応フィルタ制御を行う能動型騒音制御装置を提供することにある。

#### 【0011】

【課題を解決するための手段】上記の目的は、所定の制御位置における音圧信号を検出する音圧検出手段と、騒音源から伝達される騒音に対して能動的に干渉させるための2次音の制御信号を出力する2次音出力手段と、騒音源と相関性のある参照信号を検出する参照信号検出手段と、参照信号と音圧信号とに基づいて制御位置における音圧信号が最小となるように制御信号を制御する適応フィルタを更新する適応フィルタ制御手段とを備える能動型騒音制御装置において、参照信号を検出する位置から音圧信号を検出する位置までの伝達系と制御信号を出力する位置から音圧信号を検出する位置までの伝達系を含む音伝達系の特性を定めることのできる少なくとも1つの環境情報を検出する手段と、検出された環境情報に基づき定められた音伝達系の特性を用いて適応フィルタの設定最適解を設定する手段と、設定最適解と更新される適応フィルタとの偏差から制御位置における音圧信号の増音状態を判定する手段とを設け、適応フィルタ制御手段が、増音状態の判定に応じて適応フィルタ制御手段自体を制御するフェールセーフ機能を有することにより達成される。

【0012】あるいはまた、制御信号を出力する位置から音圧信号を検出する位置までの伝達系を含む音伝達系の特性を定めることのできる少なくとも1つの環境情報を検出する手段と、検出された環境情報に基づき定められた音伝達系の特性と音圧信号と制御信号とを用いて騒音源から伝達される騒音の推定騒音を推定する手段と、推定騒音と音圧信号との偏差から制御位置における音圧信号の増音状態を判定する手段とを設けて、適応フィルタ制御手段が、増音状態の判定に応じて適応フィルタ制御手段自体を制御するフェールセーフ機能を有すること

によっても達成される。

### 【0013】

【作用】適応フィルタ制御において、1次音と2次音を干渉させ車室内の音圧を最小にする適応フィルタの最適解は、参照信号検出位置からマイクロフォン位置までの伝達関数 $H$ と、スピーカ位置からマイクロフォン位置までの音響伝達関数 $C$ とから求められるものである。そして、伝達関数 $H$ や音響伝達関数 $C$ は、対象システムの環境により決まるものである。

【0014】即ち、車両の場合であれば、伝達関数 $H$ は、車室内温度、車両の荷重分布、車両速度などの環境因子により、また、音響伝達関数 $C$ は、車室内温度、湿度、遮蔽物の有無などの環境因子により定められる環境毎に決まるものである。問題は、この対象システムの環境が変動し、伝達関数も変動することである。

【0015】しかし、環境は変動するが、極端な場合を除き、変動範囲内の在り得る環境を予想することは可能である。従って、この予想環境を予め仮定すれば、予想環境の伝達関数は決まり、予想環境の適応フィルタの最適解（以下、設定最適解と言う。）を設定して置くことができる。

【0016】そこで、一定期間毎に、対象システムの実際の環境（以下、実環境と言う。）を検出し、予想環境に当て嵌めて一時的に環境を特定し、該実環境に対する該設定最適解を設定する。

【0017】該一定期間の間、実環境が一時的に不変であり、実環境が当て嵌めた予想環境に該当していれば、実際の適応フィルタ制御の更新は、該設定最適解に近似する筈であり、適応フィルタ制御の消音制御は、安定して行われると考えられる。

【0018】しかし、逆に、実環境が予想環境と外れると、消音制御は不安定になり、消音状態から増音状態になると考えられる。従って、実環境と予想環境の偏差をチェックし、消音状態か増音状態かを判定することができる。

【0019】実環境と予想環境の偏差は、実環境の制御に対し実際に用いられている適応フィルタと、該設定最適解との偏差から求める。そして、消音／増音状態の判定は、該偏差と閾値との比較から行うものである。閾値は、予め実験により決めた所定の値で、例えば、偏差がこの値を越えたら増音状態であると判定できる限界値である。

【0020】一方、1次音と2次音を干渉させ車室内の音圧を最小にする制御では、車室内の音圧  $e = 1$ 次音  $d_1 + 2$ 次音  $d_2$  の関係にあり、これを書き替えば、  $d_1 = e - d_2$  である。干渉が適切に行われ、消音状態にあれば、1次音と2次音は逆位相であるので、数学的に表わせば、 $d_1$ と $d_2$ は、正と負の関係にある。従って、消音状態にあれば、 $e = d_1 + (-d_2) \leq d_1$  の関係となる。逆に増音状態であれば、

正と正となり、 $e = d_1 + d_2 > d_1$  の関係である。

【0021】また、車室内の音圧  $e$  は、マイクロフォンで検出されている。2次音  $d_2$  は、音響伝達モデル関数 $C$ と適応フィルタの制御信号 $y$ から求められる。

【0022】即ち、一定期間毎に実環境を検出し、予想環境に当て嵌め、一時的に環境を特定し、音響伝達モデル関数 $C$ を決め、 $d_2$ を求める。これより、 $d_1 = e - d_2$  の関係から、 $d_1$ を推定する。そして、音圧  $e$  と1次音  $d_1$  を比べ、上記の関係より、消音／増音状態の判定を行うものである。

### 【0023】

【実施例】以下、本発明の内容を図面に基づいて詳細に説明する。

【0024】図1は、本発明による一実施例の適応フィルタによる騒音制御を用いた能動型騒音制御装置の全体構成を示している図である。

【0025】車両に適用した例を示して説明する。各サスペンションに取り付けられて参照信号を検出する加速度センサ1、1次音を含む車室内10の騒音を検出するマイクロフォン2、消音のための2次音を出力するスピーカ3、適応フィルタ制御用のコントローラ4などから構成され、センサ、マイクロフォン、スピーカは複数個使用されている。

【0026】走行中に路面の凹凸によりタイヤが加振され各サスペンションが振動すると、4個の加速度センサ1は、振動加速度を検出し、センサ信号101をコントローラ4に入力する。センサ信号101は、騒音源である1次音の参照信号であり、アナログローパスフィルタ41、A/D変換器42を介してデジタル信号102に変換される。

【0027】コントローラ4内のマイクロプロセッサ43は、適応フィルタによる騒音制御である適応フィルタ制御103と本発明によるフェールセーフ制御108とを含んでいる。マイクロプロセッサ43は、参照信号と適応フィルタとで畳み込み演算し、2次音の制御信号104を生成する。該制御信号104は、D/A変換器44及びアナログローパスフィルタ45を介してアンプ5により増幅され、2個のスピーカ3より2次音105となって出力される。

【0028】一方、4個のマイクロフォン2から得られた車室内10の音圧信号106は、アナログローパスフィルタ41、A/D変換器42を介してデジタル信号107に変換されてマイクロプロセッサ43に入力される。

【0029】そして、騒音源である1次音とスピーカ3からの2次音とを干渉させることにより、マイクロフォン位置での音圧信号106が最小になるように、適応フィルタのフィルタ係数を、ある一定のサンプリング間隔（約1/1000 sec）で、時々刻々更新する点までは、従来技術と同じであるが、本発明の特徴は、適応フィルタ

制御が為されている対象システムの状態に応じて、フェールセーフ制御を実行する点にある。

【0030】尚、適応フィルタのフィルタ係数を更新する適応フィルタ制御は、従来技術のMultiple Error Filtered-X LMS アルゴリズムと基本的に同じものを用いている。このMEFX-LMSアルゴリズムについては、例えば"Signal Processing for Active Control -Adaptive Signal Processing-", H. HAMADA, International Symposium on Active Control of Sound and Vibration, ASJ Proc.'91, Tokyo, April 9-11, 1991, pp. 33-44 に解説されている。

$$y_m(n) = \sum_i w_{mk}(i) x_k(n-i)$$

但し、 $m=0 \sim (M-1)$ 、 $k=0 \sim (K-1)$ 、 $i=0 \sim (I-1)$

M: スピーカ個数、K: センサ個数、I: 適応フィルタ※

$$w_{mk}(i)(n+1) = \lambda_{mk} \cdot w_{mk}(i)(n) + \alpha_{mk} \cdot \sum_l e_l(n) r_{lmk}(n-i) \quad (\text{数2})$$

ここで、 $e_l(n)$  212は車室内の音圧信号である。: l (エル) =  $0 \sim (L-1)$

$$r_{lmk}(n) = \sum_j C'_{lm}(j) x_k(n-j)$$

ここで、 $r_{lmk}(n)$  は基準信号である。

【0036】また、 $C'_{lm}(j)$  は、m番目スピーカとl (エル) 番目マイクロフォンの間の音響伝達系のモデル関数203で、係数J個のデジタルFIRフィルタで表現される与値である。また、適応フィルタ $w_{mk}(i)$ の数は、通常、『スピーカ数M×センサ数K=MK個』ある。図1の例では、 $2 \times 4 = 8$ 個である。(数2)式の適応フィルタ更新式の中の係数 $\alpha_{mk}$ 、 $\lambda_{mk}$ は、各々、収束係数及びリーキーパラメータと呼ばれているものである。

【0037】収束係数 $\alpha_{mk}$ が大きいと、1回ごとの適応フィルタ $w_{mk}$ の更新量は大きくなる。即ち、適応フィルタ $w_{mk}$ の成長が大きくなり、最適値に収束するまでの時間は短くなる。しかし、大きすぎると消音制御が不安定になり、逆に増音状態などを引き起こし易くなる。従って、収束係数 $\alpha_{mk}$ によって、適応フィルタの成長を遅くする、あるいは、成長を止める( $\alpha_{mk}=0$ 、 $\lambda_{mk}=1$ )ことができる。

【0038】また、リーキーパラメータ $\lambda_{mk}$ の値は、 $0 \leq \lambda_{mk} \leq 1$ の値である。この値を、 $\lambda_{mk} < 1$ にすれば、適応フィルタの絶対値を更新毎に小さくすることができる。即ち、リーキーパラメータにより、適応フィルタ☆40

$$\begin{aligned} (Wopt)_{mk} &= |(H)(C^{-1})|_{mk} \\ &= |(S_{11}^{-1})(S_{10})(C^{-1})|_{mk} \end{aligned} \quad (\text{数4})$$

但し、 $(H)_{1k} = (S_{11}^{-1})_{kk}(S_{10})_{1k}$   
 $(S_{11})_{kk} = \langle X_k X_k \rangle$   
 $(S_{10})_{1k} = \langle D_{11} X_k \rangle$  である。

【0043】ここで、 $X_k(k=0 \sim K-1)$ は参照信号のスペクトル行列、 $D_{11}(l=0 \sim L-1)$ は1次音の音圧信号のスペクトル行列、 $S_{11}$ は参照信号のパワースペクトル行列、 $S_{10}$ は、参照信号と1次音の音圧信号とのクロススペクトル行列を表している。また、添字 $mk$ は、行列のm行k

\*【0031】図2は、本発明による一実施例の能動型騒音制御装置の制御アルゴリズムの概略ブロック線図である。K個のセンサ(1次音 $d_{11}$ 209の参照信号 $x_k$ 208)、M個のスピーカ(2次音 $d_{21}$ 210の制御信号 $y_m$ 211)、L個のマイクロフォン(車室内の音圧信号 $e_l$ )が用いられている。

【0032】図より、n番目サンプル時の2次音の元になる制御信号 $y_m(n)$ は、次式で示されるような、参照信号 $x_k(n)$ と適応フィルタ $w_{mk}(i)$ 202( $i=0 \sim I-1$ )の畳み込み演算式から求められる。

$$\begin{aligned} * \quad & \text{【0033】} \\ & (\text{数1}) \end{aligned}$$

※タップ数。

$$\text{【0034】}$$

★L: マイクロフォン個数。

$$\begin{aligned} * \quad & \text{【0035】} \\ & (\text{数3}) \end{aligned}$$

20 ☆タを徐々に小さくする、即ち逆成長させることができる。しかし、収束係数に比して、リーキーパラメータを小さくし過ぎると、適応フィルタの成長が適切でなく、十分な消音効果が得られない場合がある。

【0039】そして、本発明は、適応フィルタ制御が為されている対象システムの状態に応じて、これらの係数 $\alpha_{mk}$ 、 $\lambda_{mk}$ を予め用意した係数テーブル205を用いて変化させ、フェールセーフ制御を実行するものである。

【0040】一方、前述したようにマイクロフォン位置での車室内の音圧信号を最小にする適応フィルタの最適解は、K個のセンサ位置とL個のマイクロフォン位置の間の信号伝達関数スペクトル行列H 201、L個のマイクロフォン位置とM個のスピーカ位置の間の音響伝達関数スペクトル行列C 206から求められる。

【0041】即ち、適応フィルタの最適解 $wopt_{mk}(i)$ は、次式に示すようなフーリエスペクトル $(Wopt)_{mk}$ をフーリエ変換して求める。フーリエスペクトル $(Wopt)_{mk}$ は、参照信号数をK個、車室内の音圧信号数をL個、2次音の制御信号数をM個として、(数4)式から求められる。

$$\begin{aligned} \text{【0042】} \\ & (\text{数4}) \end{aligned}$$

列成分、 $\langle \rangle$ は、サンプル平均、 $^{-1}$ は、一般化逆行列を表している。

【0044】ところで、音の伝達系が時不変な伝達関数であれば、適応フィルタの最適解 $wopt_{mk}(i)$ は、時間的に一定である。しかし、車室内温度、車両総重量、車両走行速度などの環境因子の影響で伝達関数は変化するの、最適解 $wopt_{mk}(i)$ は、実際には、一定ではない。

【0045】図3は、本発明による一実施例の適応フィ

ルタの設定最適解を設定する概略フローチャートである。

【0046】予めP個の予想環境303を仮定する。そして、これを基に、最適解 $w_{optmk}(i)$  ( $mk=1\sim MK$ ,  $p=1\sim P$ )からなる最適解テーブル302を用意する。そして、適応フィルタ制御のフェールセーフ制御108が行われる対象システム10（この場合は、車室内10に相当する。）の環境因子を一定時間毎に測定し、実際の実環境を検出する。そして、その実環境がどの予想環境に該当するか環境の判断301を行い、該当する予想環境の一つを選択する。当該選択された予想環境に対し用意された最適解を、前述の最適解テーブルから当該実環境に対応する最適解 $w_{optmk}(i)$  304として設定する。そして、フェールセーフ305する場合を示している。

【0047】例えば、 $P=4$ 個とすれば、図1の例では、 $MK=8$ 個であるから、32個の最適解からなる最適解テーブルを用意することになる。

【0048】尚、最適解 $w_{optmk}(i)$ を設定する方法は、最適解テーブルを用いなくて、測定された環境因子から、その都度演算し設定する方法でも良い。但し、この場合、環境変動周期と最適解演算時間と因子測定一定時間などを考慮する必要がある。

【0049】ここで、適応フィルタ $w_{mk}(i)$ の数は、前述のように通常、 $MK$ 個あるが、以下、理解を簡単にするため適応フィルタ1個の場合に限定し説明する。また、適応フィルタ $w_{mk}(i)$ の添字 $mk$ を省くことにする。従って、P個の予想環境から一つの環境が選択された場合、適応フィルタ1個に対し、一つの最適解 $w_{opt}(i)$ が設定される。

【0050】騒音環境を定める条件の因子としては、車室内温度、車両走行速度、車両総重量、車両の荷重分布などが考えられる。この他にも、車室内の音圧信号106、センサ信号101、2次音の制御信号104、および、時々刻々更新される適応フィルタ $w(i)$ なども環境因子とすることができる。この内、一つの因子で環境を定めることができる場合もある。

【0051】具体的には、図1の例の車室内騒音のような場合であり、車室内温度のみの因子で、環境を定めることができる。他の因子の影響が無視できる環境であるからである。

【0052】そして、例えば、P1環境： $Ta < 0$ 、P2環境： $0 \leq Ta < 20$ 、P3環境： $20 \leq Ta < 40$ 、P4環境： $40 < Ta$ 、 $Ta$ ：車室内温度(°C) 以上の4つの環境とすることができる。

【0053】さらに、これらの環境因子を基に定義した代替因子を用いることもできる。例えば、ある一定時間毎に騒音の音圧信号 $e$ の平均パワー $\langle e^2 \rangle$ とセンサ信号 $x$ の平均パワー $\langle x^2 \rangle$ との比率を求め、ある測定時点の該比率が明らかに異なっている場合、騒音環境が変化したと見做す。そして、このような場合、その比率に

応じて予め用意された複数の最適解から、その測定時点での実環境の最適解を選択する方法である。要は、騒音環境を特定することができる因子であれば、何を用いても良い。

【0054】次に、図4は、設定された最適解を用いて、対象システムの消音/増音状態を判定し、適応フィルタ制御におけるフェールセーフ制御を実行する、即ち、本発明による一実施例の最適解設定法によるフェールセーフ制御の概略フローチャートである。

【0055】適応フィルタ制御103が為されている対象システム10の環境の判断301を行い、最適解 $w_{opt}(i)$  401を設定する。そして、対象システムの時々刻々の適応フィルタ $w(i)$  との間の差 $\delta w(i) = w_{opt}(i) - w(i)$  402を、適応フィルタタップ数I個のフィルタ係数について求める。一例を挙げれば、 $I=128$ 個である。

【0056】この差 $\delta w(i)$ を基に、対象システムの状態を判定する「偏差」として、例えば、差 $\delta w(i)$ の絶対値の和 $S_{\delta} = \sum_i |\delta w(i)|$  ( $i=0\cdots I-1$ ) 403を求め

る。【0057】この「偏差」としては、他にも差 $\delta w(i)$ の単純和 $\sum_i \delta w(i)$ 、二乗和 $\sum_i \delta w(i)^2$ 、差 $\delta w(i)$ の最大値 $\max(\delta w(i); i=0\cdots I-1)$ 、もしくは最適解と適応フィルタ間のフィルタパワーの差 $\Delta W = \sum_i w_{opt}(i)^2 - \sum_i w(i)^2$ などが考えられる。

【0058】次に、この「偏差」である $S_{\delta}$ と閾値 $S_{th}$  404（状態を判定する所定の基準値）とを比較する。そして、次のように決めた基準（ルール）によって、消音/増音状態を判定405する。

【0059】(1)  $S_{\delta} \leq S_{th}$ の時は、消音状態（正常なる制御状態）

(2)  $S_{\delta} > S_{th}$ の時は、増音状態

ここにおいて、消音か増音かの状態を判定するルール

「偏差の求め方と閾値の設定」は、予め実験などから決めるものである。いろいろ実験して、騒音制御をする対象システムに適する偏差の求め方を決める。そして、当該対象システムの状態を判定するに適した閾値を設定するものである。

【0060】例えば、耳ざわりな騒音と言うのは、1000 Hz近辺とされている。従って、いろいろ実験して、この近辺の周波数域の増音状態をより良く現す「偏差」であるように求め、そして増音状態であると判定され得る閾値であるように設定した、判定ルールを決定するものである。そして、上記により判定した消音や増音の状態により、例えば、次のようなフェールセーフ制御108を行うものである。

【0061】消音状態406にある時は、そのまま適応フィルタ制御を継続する。また、増音状態407にある時は、適応フィルタ制御を一時停止408し増音状態の進行を抑える。該制御の再開は、制御装置の再始動時、ある

いは車両においては一度エンジンを切って停車した後のエンジン再始動時に行うものとする。上記の方法を「最適解設定法」と言うことにする。

【0062】図5は、閾値を3段階( $S_{11}(1) < S_{11}(2) < S_{11}(3)$ )に設定した場合のフェールセーフ制御の概略フローチャートである。

【0063】偏差  $S_{\delta v}$  501 と閾値  $S_{11}$  502 の関係を次のように決め、判定 (503~505) する。

【0064】(1)  $S_{\delta v} < S_{11}(1)$  : 消音状態 506 (正常なる制御状態)

(2)  $S_{11}(1) < S_{\delta v} < S_{11}(2)$  : 増音気味の状態 510

(3)  $S_{11}(2) < S_{\delta v} < S_{11}(3)$  : 増音状態 508

(4)  $S_{11}(3) < S_{\delta v}$  : 発散状態 507

そして、各々の状態に応じて、次のフェールセーフ制御108を実行する。

【0065】(1)の場合: 消音状態であり、そのまま制御を続行する。

(2)の場合: 増音気味の状態であるので、適応フィルタの成長を遅くするか、または成長を止める。これにより、増音状態の様子を窺う。(具体的には収束係数  $\alpha$  を小さくするか、または  $\alpha = 0$  とする。)

(3)の場合: 増音状態であり、適応フィルタを徐々に小さくするか、または一旦適応フィルタを零とし、そして再成長させる (509)。これにより、増音状態の進行を抑える。(具体的には収束係数  $\alpha$  を小さくするか、または  $\alpha = 0$  とすると共に、リーキーパラメータを  $\lambda < 1$  として作用させる。そして、適応フィルタの成長が充分小さくなったか、または一旦2次音の出力を完全に止め、その後、 $\alpha$  や  $\lambda$  を元に戻し、再成長させる。)

(4)の場合: 発散状態であり、適応フィルタ制御自体を一時停止する。(具体的には制御装置の作動を停止する。実際は、この状態に至る前に、適切にフェールセーフ制御を行うので、例外的な処置である)。

【0066】この実施例の場合、「増音気味の状態」と言う判定ルールを採用した点に特長がある。増音状態に移行する気配を掴み、明らかな増音状態に至る前に先手を打つ対応ができる。また、閾値を3段階以上の複数段階に設定し、更に木目の細かいフェールセーフ制御を行い、安定した適応フィルタ制御が行える。

【0067】尚、適応フィルタ制御が過渡状態の場合、例えば適応フィルタが成長途中の場合などは、最適解に対して適応フィルタが未だ小さいため、その偏差が大きい場合がある。このように適応フィルタがある一定の大きさに達しない状態の時は、上記フェールセーフ制御の\*

$$d_2(n) = \sum_i C^*(j) y(n-j)$$

次に、この  $d_2(n)$  と車室内の音圧信号  $e(n)$  を用いて、

(数6) 式より、1次音  $d_1(n)$  を推定する。(ステッ ※

$$d_1(n) = e(n) - d_2(n)$$

次に、音圧信号  $e(n)$  および推定した1次音  $d_1(n)$  の値を、またはある一定期間加算した音圧の平均音圧値  $e$

\*範囲外とし、本発明をより実用的なものとする。

【0068】図6は、他の実施例の設定最適解によるフェールセーフ制御の概略フローチャートである。

【0069】図3~図5の実施例では、最適解テーブルから最適解を設定するものであり、そして、予め環境を予想し用意された複数個の最適解が、制御する実環境の範囲を概ねカバーしていれば、その設定された最適解は、該実環境に適した値になっている筈であり、安定した制御状態が得られると考えられる。

10 【0070】万一、予想してない環境となり、設定最適解が実環境に適した値でないならば、次のような偏差が大きく変化するので、増音状態にあると判断できる。

【0071】ある時点で測定された適応フィルタ  $w(i)$  ( $i=0, \dots, l-1$ ) と、設定された  $P$  個の最適解  $w_{optp}(i)$  ( $p=1 \sim P$ ) 601 との各偏差  $\delta w_p(i) = w_{optp}(i) - w(i)$  602 を、タップ数  $l$  個のフィルタ係数について求める。そして、この各偏差  $\delta w_p(i)$  を基に、その絶対値の和  $S_{\delta v}(p) = \sum_i |\delta w_p(i)|$  603 を求め、そのなかの最大値である  $S_{max} = \max(S_{\delta v}(p))$  604 を求める。これが、本実施例での偏差である。

20 【0072】これに対して、前述の実施例と同様、 $S_{max}$  に対する  $Q$  個の閾値  $S_{11}(q)$  ( $S_{11}(1) < \dots < S_{11}(Q)$ ) を設定する。そして、 $Q$  個の閾値  $S_{11}(q)$  に対して  $S_{max}$  の大きさがどの程度であるかによって、システムが消音状態~増音状態~発散状態の間のどのレベルにあるかを判定する (605)。そして、判定結果に応じたフェールセーフ 606 を実行する。

30 【0073】図7は、本発明によるもう一つ他の実施例の1次音推定法によるフェールセーフ制御の概略フローチャートである。もう一つ他の実施例の消音/増音状態の判定方法によるフェールセーフ制御について示した図である。

【0074】マイクロフォン2で検出された車室内の音圧信号  $e$  には、元々の騒音源である1次音  $d_1$  とスピーカ3からの出力音である2次音  $d_2$  が混在している。そこで、1次音と2次音を推定し、時々刻々の音圧信号と比較して、消音/増音状態を判定する方法である。

【0075】まず、マイクロフォン位置での音圧信号  $e(n)$  と、2次音制御信号  $y(n)$  と、スピーカ位置とマイクロフォン位置の間の音響伝達系のモデル関数  $C^*(j)$  とを入力する。(ステップ701) これらを用いて、(数5) 式より2次音  $d_2(n)$  を求める。(ステップ702)。

【0076】

$$(数5)$$

※702)。

【0077】

$$(数6)$$

AVE および  $d_1 AVE$  を求める (ステップ703)。

50 【0078】そして両者の値を比較し、(ステップ70



4)

$e(n) \leq d1(n)$ 、または  $e_{AVE} \leq d1_{AVE}$  のとき消音状態 705、 $e(n) > d1(n)$ 、または  $e_{AVE} > d1_{AVE}$  のとき増音状態 706、と判定する。

【0079】即ち、1次音  $d1$  と2次音  $d2$  の和である音圧  $e$  が、元の1次音  $d1$  より小さければ、消音であると判定するものである。尚、これらの  $e$  や  $d1$  は、一般的に変動が激しいので、ある一定期間の平均値を取ることが望ましい。

【0080】そして、増音状態にある場合には、その偏差 ( $e$  と  $d1$  の差) の大きさに応じて、

(1) 適応フィルタの成長を遅くするか、または成長を止める。

(2) 適応フィルタを徐々に小さくするか、または一旦適応フィルタを零とし、そして再成長させる。

(3) 適応フィルタ制御自体を一時停止する。  
などのフェールセーフ 707を実行する。

【0081】図8は、本発明による一実施例の分割制御系におけるフェールセーフ制御の概略ブロック線図である。

【0082】ロードノイズのようなブロードバンドスペクトルの騒音に対し制御を行っている場合、全ての周波数域で増音状態になることは稀である。大抵の場合は特定周波数域のみが増音状態になり、例えば、低周波数域では消音しているが高周波数域では増音状態になる、といったことがしばしば起こる。このような場合に対して、一つの適応フィルタで全周波数域をカバーするのではなく、低周波域用と高周波域用に制御系を分割し、各制御系の適応フィルタに対して最適解テーブルを用意して、上述したようなフェールセーフ制御を実行することが考えられる。

【0083】図では、検出したセンサ信号 101 の参照信号と車室内の音圧信号 106 とをそれぞれ高低の2系統に分割し、各々低周波域用及び高周波域用に構成された制御系 (サンプリング周波数、アナログフィルタのカットオフ周波数等がそれぞれ各周波数域用に設定されているもの) に各々の信号を入力される。そして、低周波域用の適応フィルタ  $W_L$  801、LMS (L) アルゴリズム 803、モデル関数  $C^*_L$  805、高周波域用の適応フィルタ  $W_H$  802、LMS (H) アルゴリズム 804、モデル関数  $C^*_H$  806 などを用いて、対象とする周波数域の1次音を消音するように制御するものである。

【0084】図9は、分割制御系における最適解設定法によるフェールセーフ制御の概略フローチャートである。

【0085】各制御系毎に環境の判断 301が行われる。適応フィルタの最適解テーブル (ステップ901、902) が用意されており、その時点での実環境に応じて、最適解

$$w(i) = \lambda \cdot w_{opt}(i) + \alpha \cdot \sum_i e_i(n) r_i(n-i) \quad (\text{数7})$$

$$r_i(n) = \sum_j C^*_i(j) x(n-j) \quad (\text{数8})$$

が設定される。

【0086】そして、各制御系毎に適応フィルタと最適解との偏差 (ステップ903、904) を求め、その大きさを閾値 (ステップ905、906) と比較判断 (ステップ907、908) され、各制御系毎にフェールセーフ 909が行われる。

【0087】例えば、低周波域は消音状態であるが、高周波域は増音状態にあると判定された場合は、低周波域制御系の消音制御は継続され、高周波域制御系のみ2次音出力を一時停止させるなどのフェールセーフ制御が行われる。

【0088】問題のある周波数のみ選択的に制御することが可能な本実施例の騒音制御によって、特に、耳ざわりの騒音である 1000Hz 近辺の分割制御系を設ければ、本発明の効果が遺憾なく発揮される。

【0089】図10は、分割制御系における1次音推定法によるフェールセーフ制御の概略フローチャートである。

【0090】制御系を高周波域と低周波域の2系統に分割し、音圧信号  $e_H$ 、 $e_L$  と2次音制御信号  $y_H$ 、 $y_L$ 、およびモデル関数  $C^*_H$ 、 $C^*_L$  が制御系に入力される。

(ステップ1001、1002)

そして、各制御系毎に2次音  $d2_H$ 、 $d2_L$  と1次音  $d1_H$ 、 $d1_L$  を求め、音圧信号の平均値  $(e_H)_{AVE}$ 、 $(e_L)_{AVE}$ 、1次音の平均値  $(d1_H)_{AVE}$ 、 $(d1_L)_{AVE}$  を求める。(ステップ1003、1004)

大小が比較され、判定される。(ステップ1005、1006) そして、増音状態にある場合には、その程度に応じて、前述の(1)～(3)と同じようなフェールセーフ 1007、1008を行うものである。

【0091】以上の説明は、適応フィルタの最適解を設定し、車室内の増音状態を判定し、フェールセーフ制御を行うものであるが、従来の消音制御に、この「最適解設定法」を用いることができる。

【0092】図11は、本発明による一実施例の適応フィルタ制御の概略フローチャートである。

【0093】まず、エンジンがスタートされ、適応フィルタ制御が開始される。(ステップ1101) そして、環境が判断される。(ステップ301) そして、マイクロプロセッサ 43 のROM内にメモリされているP個の適応フィルタの最適解  $w_{opt_p}(i)$  のうちから、一つの最適解  $w_{opt}(i)$  が設定される。(ステップ304)

そして、適応フィルタ更新式および2次音制御信号の出力式の初期値に、この最適解  $w_{opt}(i)$  が入力される。

(ステップ1102) そして、次の(数7)～(数9)式から適応フィルタ制御 103が開始される。

【0094】



$$y(n) = \sum_i w_{opt}(i) x(n-i)$$

このように、設定された最適解  $w_{opt}(i)$  を初期値として与えることにより、最初から適応フィルタの最適解を求めながら制御するよりも、いち早く短時間に消音制御に入ることができる。また、その後の制御も、この与えた最適解からの微更新に留めることができるので、安定した適応フィルタ制御が行える。

【0095】尚、本発明は、騒音制御以外に振動低減制御にも適用することができる。

【0096】

【発明の効果】増音状態の検出が困難なロードノイズなどのランダム騒音に対し、対象システムが増音状態か否かを判定し、消音制御を継続するまたは増音状態の進行を抑制するなどのフェールセーフ制御を実行し、安定した適応フィルタ制御を行う能動型騒音制御装置を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

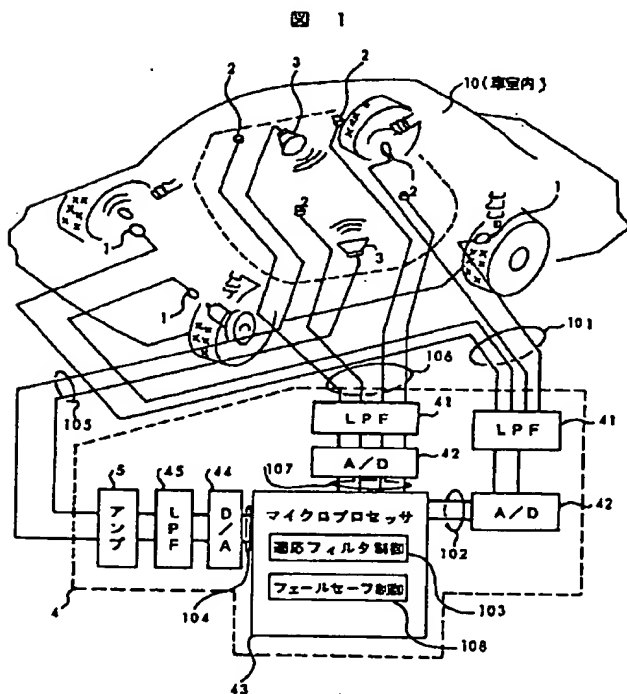
【図1】本発明による一実施例の適応フィルタ制御による能動型騒音制御装置の全体構成を示している図である。

【図2】本発明による一実施例の能動型騒音制御装置の制御アルゴリズムの概略ブロック線図である。

【図3】本発明による一実施例の適応フィルタの設定最適解を設定する概略フローチャートである。

【図4】本発明による一実施例の設定最適解によるフェールセーフ制御の概略フローチャートである。

【図1】



(数9)

【図5】閾値を3段階 ( $S_{th}(1) < S_{th}(2) < S_{th}(3)$ ) に設定した場合のフェールセーフ制御の概略フローチャートである。

【図6】他の実施例の設定最適解によるフェールセーフ制御の概略フローチャートである。

【図7】もう一つ他の実施例の1次音推定法によるフェールセーフ制御の概略フローチャートである。

【図8】本発明による一実施例の分割制御系におけるフェールセーフ制御の概略ブロック線図である。

【図9】分割制御系における最適解設定法によるフェールセーフ制御の概略フローチャートである。

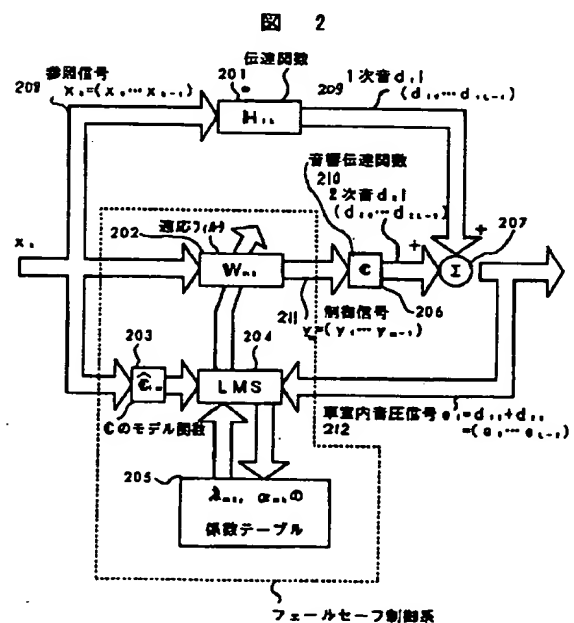
【図10】分割制御系における1次音推定法によるフェールセーフ制御の概略フローチャートである。

【図11】本発明による他の実施例の適応フィルタ制御の概略フローチャートである。

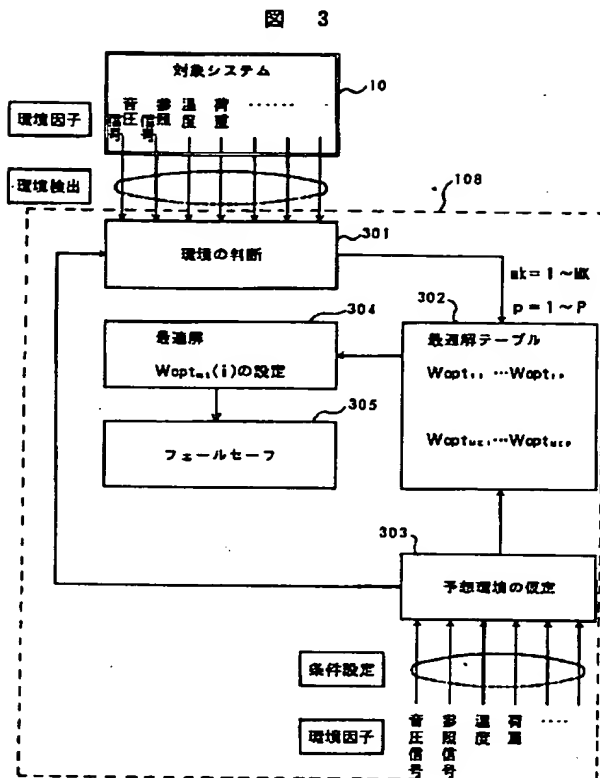
【符号の説明】

1. 加速度センサ、2. マイクロフォン、3. スピーカ、4. コントローラ、5. アンプ、10. 車室内、41. 45. アナログローパスフィルタ、42. A/D変換器、43. マイクロプロセッサ、44. D/A変換器、46. アナログハイパスフィルタ、101. センサ信号、102. 107. デジタル信号、103. 適応フィルタ制御、104. 制御信号、105. 2次音、106. 音圧信号、108. フェールセーフ制御

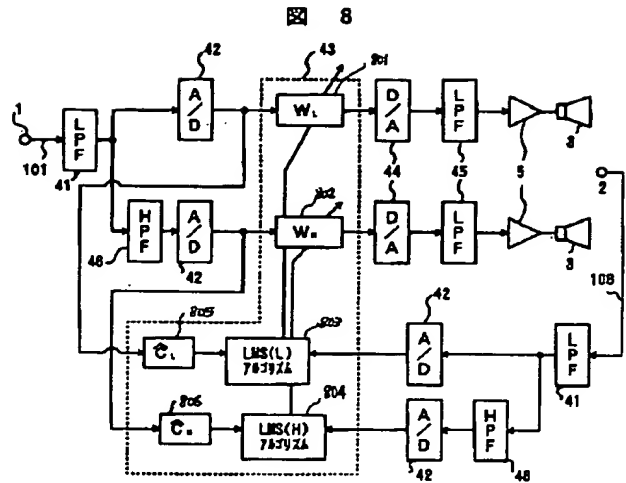
【図2】



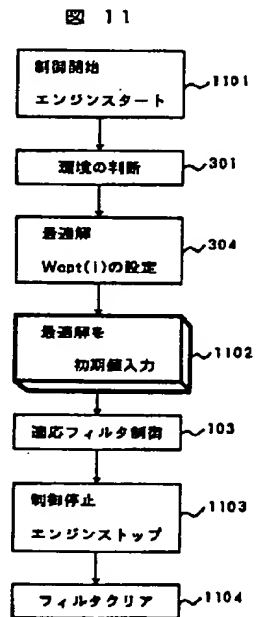
【図3】



【図8】

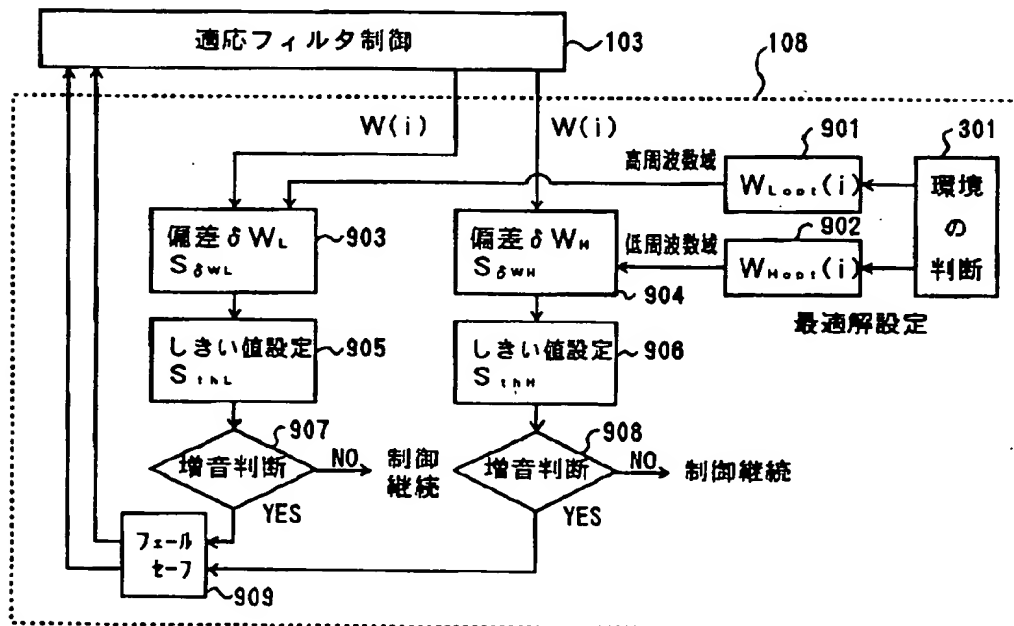


【図11】



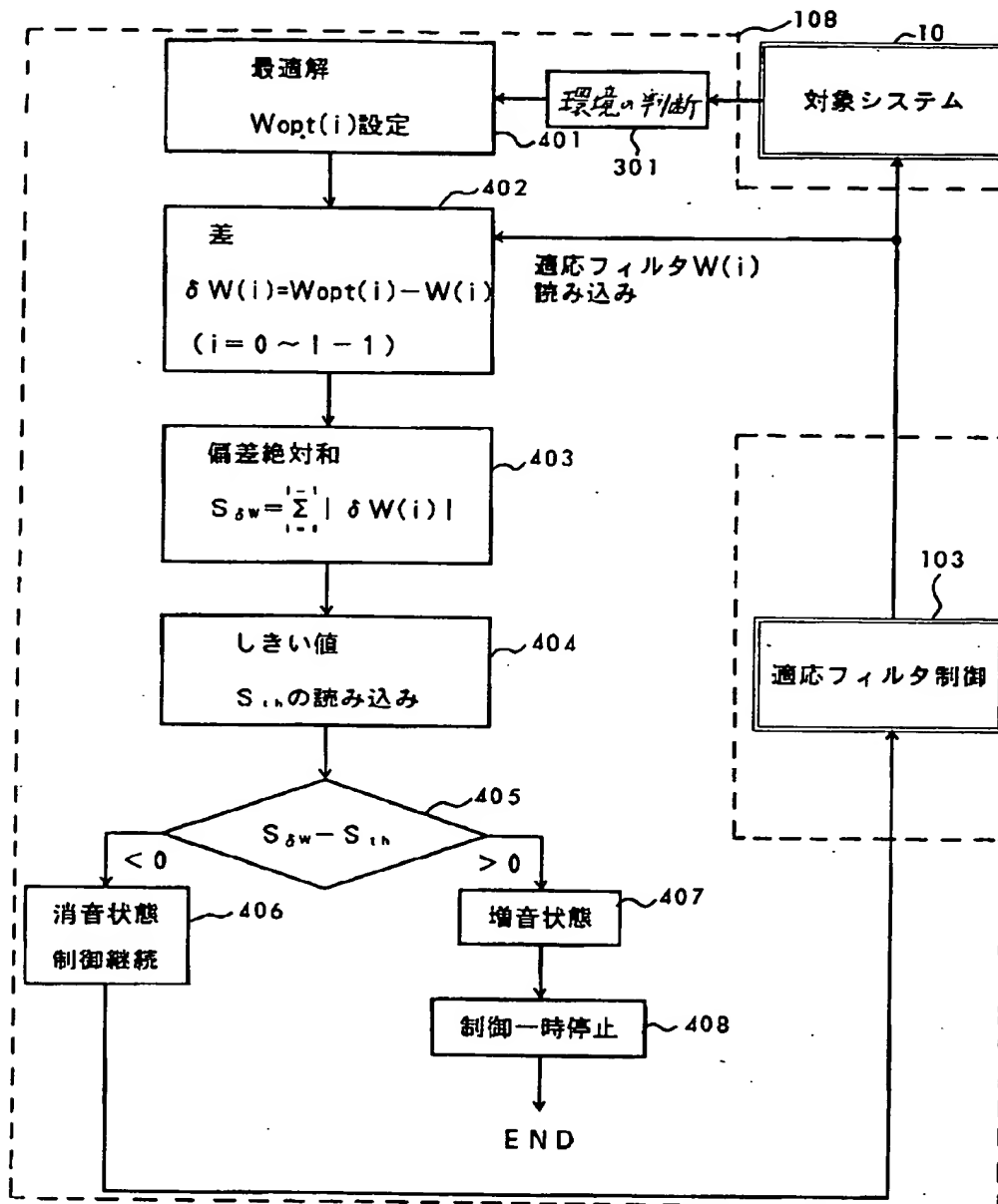
【図9】

図 9



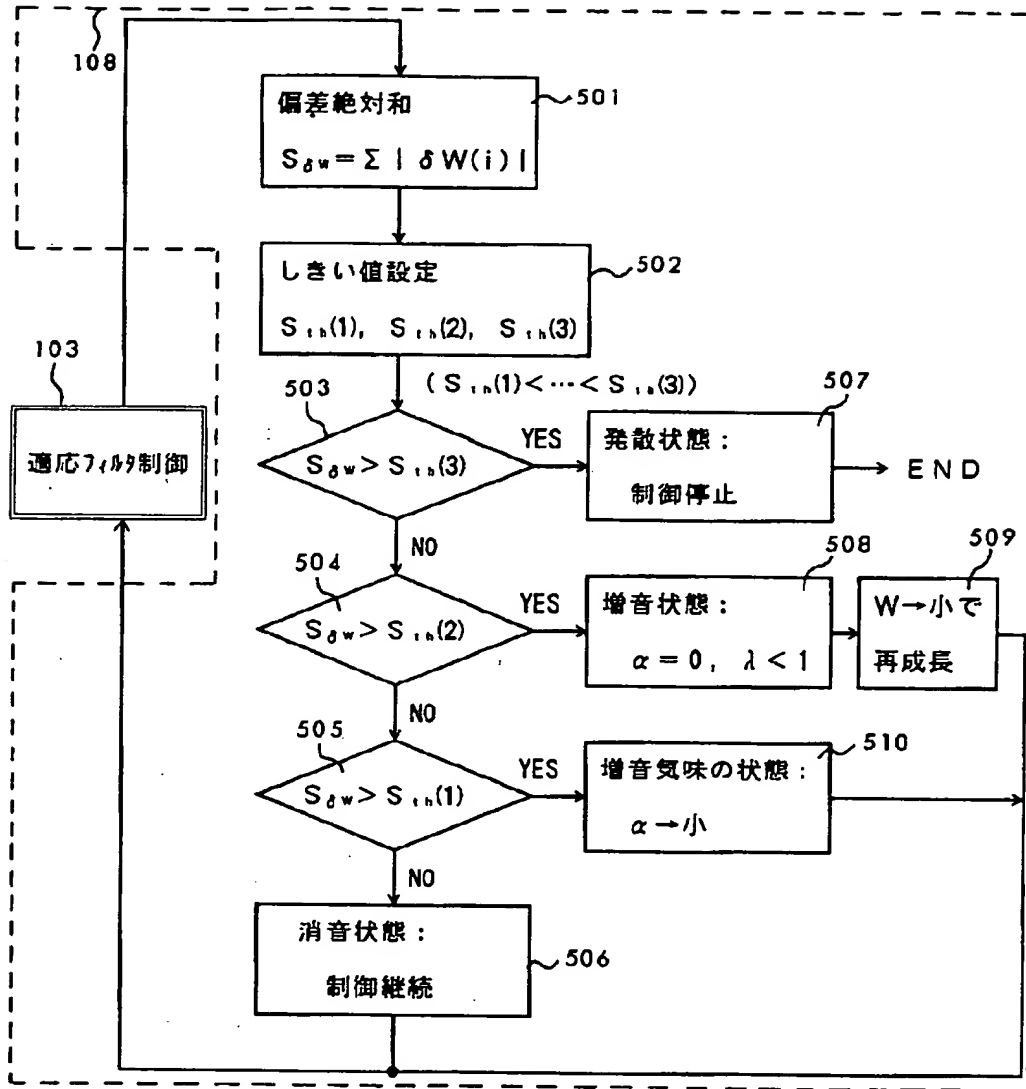
【図4】

図 4



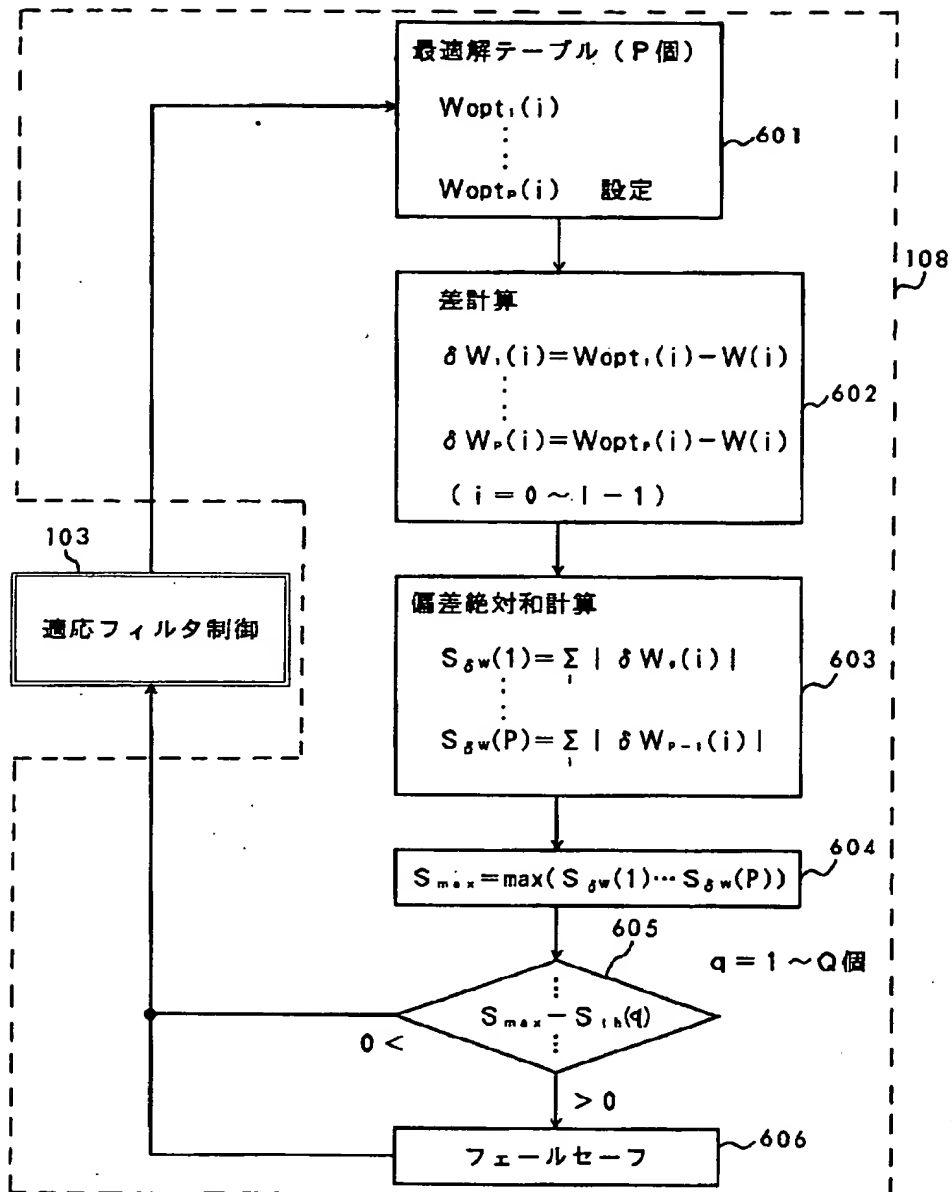
【図5】

図 5



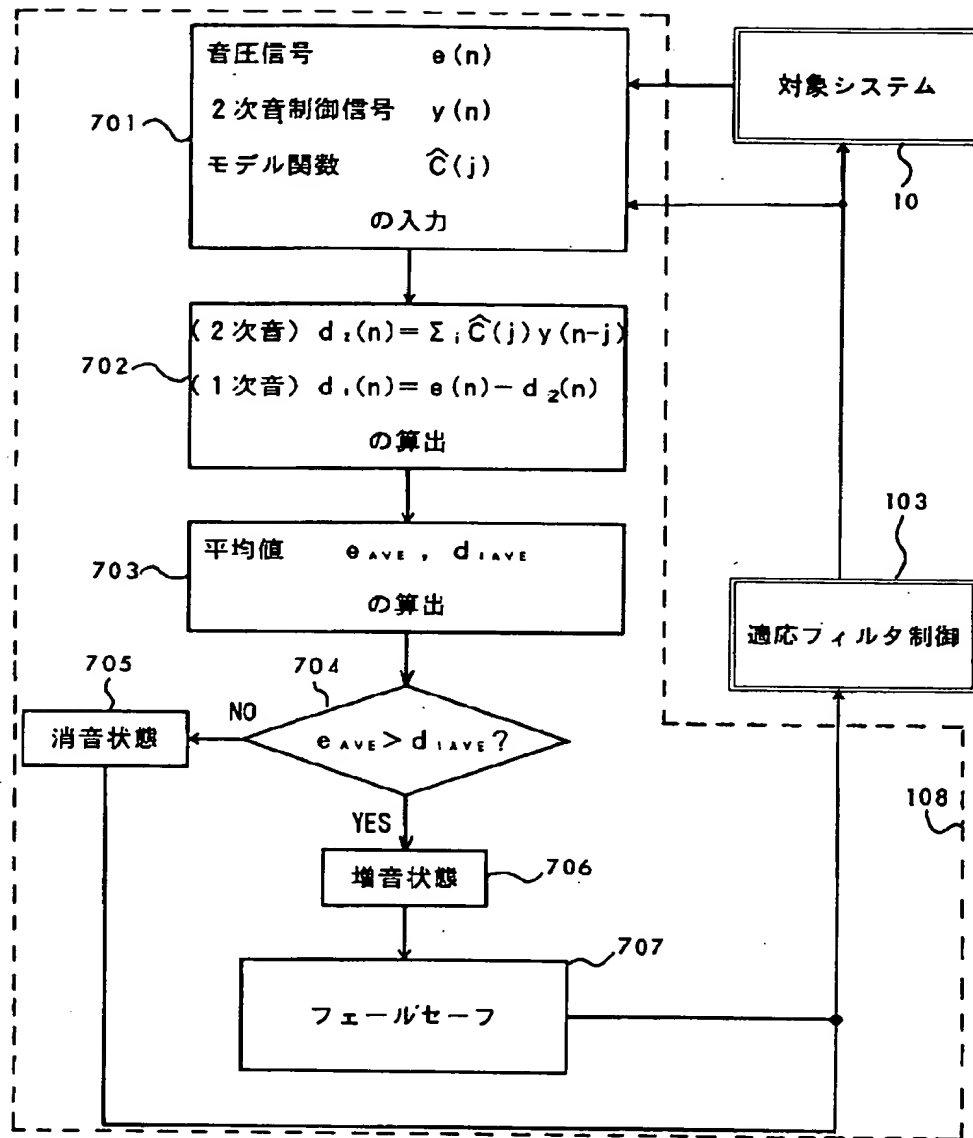
【図6】

図 6



【図7】

図 7



【図10】

図 10

